

## SIFAT DIELEKTRIK FASA SMEKTIK-C $\alpha$ \* KRISTAL CAIR MHPOBC DALAM MEDAN LISTRIK DC

Andika Fajar<sup>1</sup> dan Hiroshi Orihara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang

<sup>2</sup>Applied Physics Department, Hokkaido University  
Kita 8 Nishi 5, Sapporo 060-8628, Japan

### ABSTRAK

**SIFAT DIELEKTRIK FASA SMEKTIK-C $\alpha$ \* KRISTAL CAIR MHPOBC DALAM MEDAN LISTRIK DC.** Telah dilakukan pengukuran tetapan dielektrik kristal cair MHPOBC pada fasa SmA, SmC $\alpha$ \* dan SmC\* di dalam medan listrik DC. Telah diamati adanya titik trikritisal pada diagram fasa E-T dari kristal cair MHPOBC di sekitar transisi fasa SmA- SmC $\alpha$ \* di mana transisi fasa orde kedua berubah menjadi orde pertama. Proses relaksasi baru dengan frekuensi rendah diamati pada fasa SmC $\alpha$ \*, yang diyakini berhubungan dengan *soft mode*.

**Kata kunci :** Kristal cair, Tetapan dielektrik, Fasa SmC $\alpha$ \*

### ABSTRACT

**DIELECTRIC PROPERTIES OF SMECTIC-C $\alpha$ \* PHASE OF MHPOBC LIQUID CRYSTAL UNDER DC ELECTRIC FIELD.** Dielectric constant measurements have been performed on SmA, SmC $\alpha$ \* dan SmC\* phases of MHPOBC liquid crystal. We observed tricritical point from SmA- SmC $\alpha$ \* phase transition in E-T phase diagram of MHPOBC, where second order phase transition changes to first order one. New relaxation process has been observed in the low frequency region of SmC $\alpha$ \* phase under dc bias field, which is considered as *soft mode*.

**Key words :** Liquid crystal, Dielectric constant, SmC $\alpha$ \* phase

### PENDAHULUAN

Kristal cair smektik adalah fluida yang molekulnya terorientasi pada satu arah tertentu membentuk struktur lapis (*layer structure*), di mana direktornya (yakni arah rata-rata dari sumbu panjang molekul) bisa paralel (disebut smektik-A, SmA) atau miring (smektik-C, SmC) terhadap vektor yang tegak lurus terhadap bidang lapis. Kebanyakan kristal cair memiliki fasa-fasa ini, dan biasanya fasa SmC berada pada suhu yang lebih rendah daripada fasa SmA. Bila molekul penyusunnya adalah kiral dan memiliki dipol permanen maka pada setiap lapis fasa SmC akan memiliki polarisasi spontan yang tegak lurus terhadap bidang kemiringan. Konsekuensi kedua dari molekul kiral adalah sudut azimuthal direktor akan berubah sedikit demi sedikit pada arah normal bidang lapis membentuk struktur heliks. Periode heliks (*pitch*) ini mencapai ribuan kali jarak lapisan smektik yang hanya beberapa puluh nanometer. Fasa ini memperlihatkan sifat feroelektrik dan biasanya ditulis dengan SmC\*.

Di tengah ramainya penelitian tentang kristal cair feroelektrik, fasa antiferoelektrik smektik-C $\alpha$ \* (SmC $\alpha$ \*) ditemukan secara tidak sengaja pada kristal cair 4-(1-methyl heptyloxycarbonyl phenyl) 4'-octyloxy biphenyl-4-carboxylate (MHPOBC) dengan diamatinya

fenomena *tristable switching* [1]. Setelah itu, berbagai fasa dan fenomena baru ditemukan pada kristal cair ini. Fasa *intermediate* SmC $\alpha$ \* diidentifikasi di antara fasa paraelektrik SmA dan fasa feroelektrik SmC\*. Tidak seperti fasa lainnya, fasa SmC $\alpha$ \* belum diketahui strukturnya secara jelas sampai tahun 1998 meskipun berbagai eksperimen telah dilakukan [2,3]. Pada tahun 1998, berdasarkan pengukuran hamburan sinar X resonansi, MACH dkk melaporkan bahwa molekul kristal cair fasa SmC $\alpha$ \* juga memiliki struktur heliks sama seperti fasa SmC\* tetapi dengan *pitch* yang sangat pendek, hanya beberapa kali jarak antar lapisan smektik [4-7].

Efek medan listrik terhadap sifat optik maupun elektrik pada fasa SmC $\alpha$ \* merupakan salah satu topik penelitian yang telah banyak dilakukan dengan berbagai metode pengukuran. Bourny dan Orihara memperlihatkan bahwa pada diagram fasa E (medan listrik) –T (suhu) di sekitar transisi fasa SmA-SmC $\alpha$ \*, kristal cair 4-(1-methyl heptyloxycarbonyl phenyl) 4'-octyloxy biphenyl-4-carboxylate (MHPOBC), terdapat titik trikritisal di mana garis batas transisi fasa orde kedua SmA-SmC $\alpha$ \* berubah menjadi transisi fasa orde pertama setelah melewati medan listrik tertentu. Dari pengukuran

dielektrik pada medan listrik DC dalam fasa  $SmC_{\alpha}^*$  diamati proses relaksasi frekuensi rendah pada dispersi dielektrik, yang terkait dengan *soft mode* pada transisi fasa  $SmA-SmC_{\alpha}^*$  [8-10].

Dalam makalah ini akan ditunjukkan efek penerapan medan listrik DC terhadap hasil pengukuran tetapan dielektrik pada kristal cair MHPOBC. Tujuannya adalah untuk melihat bagaimana bentuk diagram fasa E-T cuplikan ini di sekitar transisi fasa  $SmA-SmC_{\alpha}^*-SmC^*$ . Cuplikan MHPOBC ini memperlihatkan fasa ferroelektrik  $SmC^*$  di bawah fasa  $SmC_{\alpha}^*$ , berbeda dengan cuplikan MHPOCBC di mana fasanya adalah antiferroelektrik  $SmC_{\alpha}^*$ . Selain itu, kristal cair MHPOCBC memiliki fasa  $SmC_A^*$  dengan rentang suhu yang cukup luas (6 °C), sedangkan MHPOBC hanya sekitar 1,5 °C, dan ini merupakan salah satu faktor sulitnya penelitian fasa  $SmC_{\alpha}^*$  pada cuplikan ini. Tujuan selanjutnya adalah mengkonfirmasi pada kristal cair ini juga dapat diamati keberadaan titik trikritis dan proses relaksasi frekuensi rendah pada fasa  $SmC_{\alpha}^*$  yang berhubungan dengan *soft mode* di sekitar transisi fasa  $SmA-SmC_{\alpha}^*$  seperti pada MHPOCBC.

## METODE PERCOBAAN

Kristal cair yang digunakan pada penelitian ini adalah senyawa 4-(1-methylheptyl oxycarbonyl)phenyl 4'-octyloxybiphenyl-4-carboxylate (MHPOBC), yang memiliki struktur molekul  $C_8H_{17}O-\text{O}-\text{O}-COO-\text{O}-COO^*H(CH_3)C_6H_{13}$ . Tanda (\*) menunjukkan atom karbon kiral, dan  $\text{O}$  menunjukkan benzena. Deretan fasa pada bahan ini dari suhu tinggi ke rendah adalah sebagai berikut [1,3] ; Isotropis – paraelektrik,  $SmA - SmC_{\alpha}^* -$  ferroelektrik,  $SmC^* -$  ferielektrik,  $SmC_{\gamma}^* -$  antiferroelektrik,  $SmC_A^* - SmI_A^* -$  Kristal.

Wadah cuplikan (sel) kristal cair yang digunakan pada percobaan ini dibeli dari E.H.C. Co. Sel ini berupa dua pelat kACa sejajar yang dipisahkan oleh *spACer* berketebalan 10  $\mu m$ . Pada kedua pelat kACa terdapat elektroda lapisan tipis *Indium Titanium Oxide* (ITO) dengan ukuran (4x4)  $mm^2$ . Keseluruhan permukaan kACa bagian dalam dilapisi dengan film *polyimide* yang berfungsi mensejajarkan orientasi molekul kristal cair dengan permukaan kACa. Permukaan film di-*rubbing* agar molekul kristal cair terorientasi pada satu arah tertentu. Kristal cair dimasukkan ke dalam sel yang dipanaskan dalam *hot-stage* Instecs (HS1) pada fasa isotropis dengan memanfaatkan fenomena kapilaritas.

Tetapan dielektrik kompleks ditentukan dari kapasitansi dan *dielectric loss* hasil pengukuran *impedance analyzer* (Hewlett Packard, HP 4194A) yang dilakukan di Departemen Fisika Terapan, Nagoya University. Pengukuran dilakukan pada 51 frekuensi berbeda dalam rentang frekuensi 100 Hz sampai dengan 1 MHz. Tegangan AC pengukuran adalah

0,008 V/ $\mu m$ , yang diusahakan sekecil mungkin untuk menghindari timbulnya efek *nonlinear*. Medan listrik DC dikenakan tegak lurus terhadap pelat kaca sampai dengan 0,7 V/ $\mu m$  dengan langkah 0,01 V/ $\mu m$ . Pengukuran dimulai dari fasa  $SmA$  sampai dengan fasa  $SmC^*$  dengan proses sebagai berikut, suhu ditetapkan pada nilai tertentu dan mulai dilakukan pengukuran dispersi frekuensi pada medan listrik DC nol. Selanjutnya tegangan DC dinaikkan dan kembali dilakukan pengukuran dispersi frekuensi. Begitu seterusnya sampai mencapai tegangan maksimum yang ingin diukur. Setelah selesai, suhu diturunkan dan kembali dilakukan pengukuran seperti di atas. Setiap kali selesai pengukuran pada suatu nilai medan listrik DC tertentu, pada cuplikan dikenakan medan listrik DC negatif dengan besar dan rentang waktu yang sama, agar tidak terjadi akumulasi muatan di dalam cuplikan. Semua pengukuran dilakukan secara otomatis melalui komputer dengan mengontrol *impedance analyzer* melalui GPIB dan pengatur suhu *INTEC* melalui RS232.

Dispersi frekuensi tetapan dielektrik kompleks yang diperoleh dianalisis menggunakan formula *Cole-Cole* sebagai berikut [11],

$$\varepsilon(\omega, T) = \varepsilon_{\infty} + \sum_n \frac{\Delta\varepsilon_n(T)}{1 + (i\omega\tau_n)^{\beta_n}}$$

dimana  $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$ ,  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_0 - \varepsilon_{\infty}$  adalah *dielectric strength*,  $\varepsilon_0$  dan  $\varepsilon_{\infty}$  masing-masing adalah tetapan dielektrik statis pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi untuk masing-masing *mode*, sedangkan  $\tau_n$  adalah waktu relaksasi dari masing-masing *mode*. Indeks  $\beta_n$  adalah sebuah tetapan yang memperlihatkan distribusi waktu relaksasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

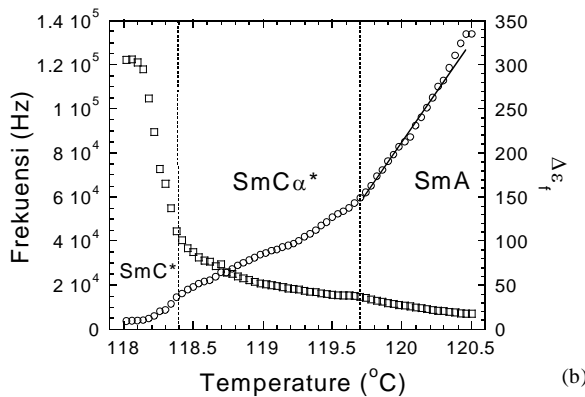
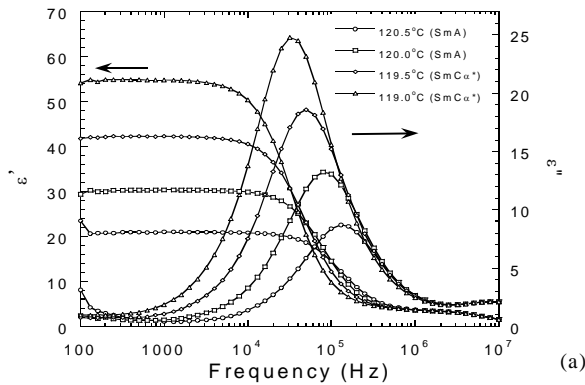
### Pengukuran pada Medan Listrik DC Nol

Pada Gambar 1(a) diperlihatkan spektrum tetapan dielektrik kompleks di sekitar transisi fasa  $SmA-SmC_{\alpha}^*$ . Untuk menentukan frekuensi relaksasi dan *dielectric strength* dari masing-masing *mode* yang memberikan kontribusi pada fasa  $SmA$ ,  $SmC_{\alpha}^*$  dan  $SmC^*$ , bagian real  $\varepsilon'$  dan imajiner  $\varepsilon''$  dari tetapan dielektrik kompleks di-*fitting* secara simultan menggunakan persamaan (1). Karena hanya ada satu proses relaksasi gerakan kolektif molekul yang diamati, maka digunakan  $n=1$  pada persamaan tersebut. Dalam proses *fitting*, kontribusi relaksasi RC sel yang disebabkan oleh tahanan elektroda pada frekuensi tinggi di atas 1 MHz, dan konduktivitas ion pada frekuensi rendah diabaikan.

Frekuensi relaksasi,  $f_R = 1/2\pi\tau_n$ , dan *dielectric strength*,  $\Delta\varepsilon_f$ , dari masing-masing *mode* pada fasa  $SmA$ ,  $SmC_{\alpha}^*$  dan  $SmC^*$  ditunjukkan pada Gambar 1(b). Pada fasa  $SmA$ , proses relaksasi yang terjadi berkaitan dengan *ferroelectric soft mode* (FSM), yakni fluktuasi

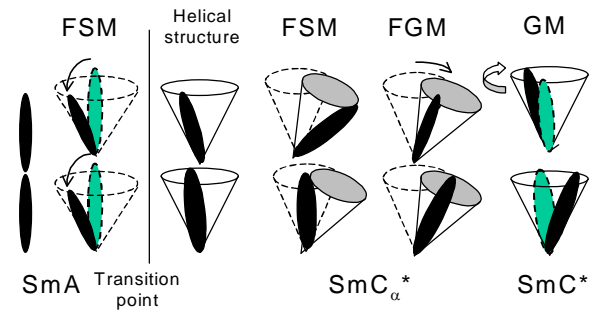
molekul kristal cair pada arah sudut kemiringan molekul terhadap sumbu normal. *Dielectric strength* pada *mode* ini bertambah besar hingga mencapai suhu transisi ke fasa SmC $\alpha^*$  yang ditandai dengan adanya puncak kecil, setelah itu kembali membesar pada fasa SmC $\alpha^*$  hingga mencapai maksimum pada fasa SmC\*. Sedangkan frekuensi relaksasinya menurun secara linier mengikuti hukum Curie-Weiss pada fasa SmA. Perubahan ini tetap berlanjut pada fasa SmC $\alpha^*$  dengan kemiringan yang berbeda dengan fasa SmA.

zone [8,9]. Pada Gambar 2 diperlihatkan skema fluktuasi molekul kristal cair yang diamati oleh pengukuran dielektrik.



**Gambar 1.** (a) Spektrum tetapan dielektrik di sekitar transisi fasa SmA-SmC $\alpha^*$ , serta (b) frekuensi relaksasi (fR), dan *dielectric strength* (Def), yang diperoleh dari hasil *fitting* menggunakan persamaan (1). Garis putus-putus pada Gambar (b) menunjukkan suhu transisi fasa.

Proses relaksasi pada fasa SmC $\alpha^*$  ini dihubungkan dengan *ferroelectric goldstone mode* (FGM), yakni fluktuasi molekul kristal cair pada sudut azimuthal struktur heliks. Pada fasa SmC\*, proses relaksasi juga disebabkan oleh FGM. Nilai *dielectric strength* berubah menjadi tinggi serta frekuensi relaksasi yang rendah dan relatif konstan terhadap suhu. Hasil ini sesuai dengan pengukuran pada kristal cair ferroelektrik lainnya dan telah dijelaskan secara teoritis [11]. Dari hasil penelitian terakhir dipahami bahwa FSM dan FGM yang diamati ini bukanlah proses relaksasi yang terkait langsung dengan transisi fasa SmA-SmC $\alpha^*$ , karena pengukuran dielektrik ini hanya mengukur *mode* dengan *wave number* nol. Sedangkan *soft mode* yang terkait langsung dengan transisi fasa ini berada pada posisi sembarang dalam daerah Brillouin

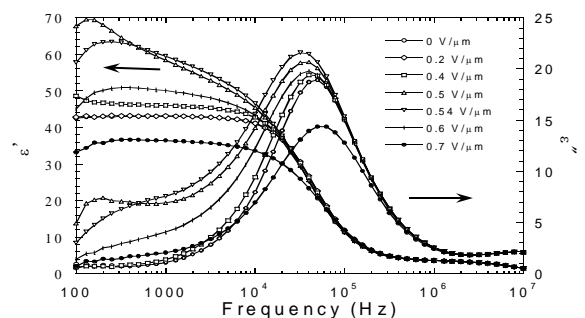


**Gambar 2.** Fluktuasi molekul kristal cair yang diamati pada pengukuran dielektrik pada fasa SmA, SmC $\alpha^*$  dan SmC\*. Perbedaan FSM dan FGM pada fasa SmC $\alpha^*$  dan SmC\* dibedakan dengan panjangnya *pitch* struktur heliks masing-masing fasa

Nilai tetapan dielektrik berubah secara kontinyu terhadap suhu pada transisi fasa SmA-SmC $\alpha^*$  yang menunjukkan transisi fasa ini adalah orde kedua. Sedangkan transisi fasa SmC $\alpha^*$ -SmC\* memperlihatkan lompatan tetapan dielektrik cukup besar yang merupakan ciri transisi fasa orde pertama. Hal ini diperkuat dengan pengukuran dielektrik pada proses *heating* dan *cooling*, di mana pada transisi SmA-SmC $\alpha^*$  tetapan dielektriknya berimpit sedangkan pada transisi fasa SmC $\alpha^*$ -SmC\* diamati terjadinya histerisis [12].

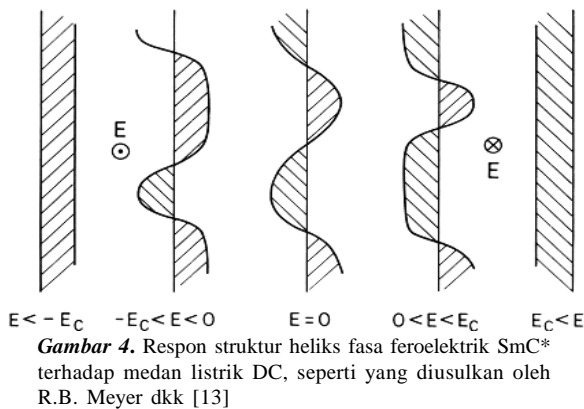
### Pengukuran Dengan Medan Listrik DC

Gambar 3 memperlihatkan perubahan spektrum tetapan dielektrik kompleks pada fasa SmC $\alpha^*$  (119,46°C) terhadap medan listrik DC. Pada medan listrik DC rendah hanya terlihat satu proses relaksasi, dan frekuensi relaksasi yang ditunjukkan dengan posisi puncak bagian imajiner tidak banyak berubah. Posisi puncaknya berpindah ke frekuensi yang lebih rendah dengan semakin kuatnya medan listrik. Setelah melewati nilai 0,54 V/ $\mu$ m, puncaknya kembali berpindah ke frekuensi yang lebih tinggi. Nilai kritikal ini merupakan titik transisi ke fasa SmC.



**Gambar 3.** Perubahan spektrum dielektrik kompleks terhadap perubahan medan listrik DC pada fasa SmC $\alpha^*$  (119,46°C)

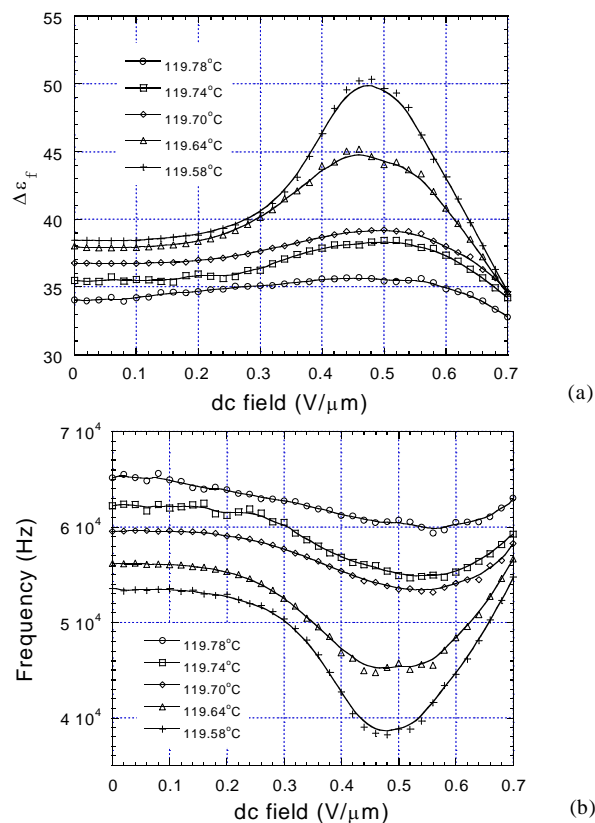
Untuk memberikan proses yang terjadi pada struktur molekul pada fasa smektik  $SmC_{\alpha}^*$  yang memiliki struktur yang mirip dengan fasa  $SmC^*$  tetapi dengan periode heliks yang lebih pendek, maka di sini akan dijelaskan secara ringkas proses *helix unwinding* pada fasa  $SmC^*$  yang ditunjukkan pada Gambar 4. Ketika medan listrik DC diterapkan pada arah sejajar dengan bidang smektik, *linear coupling* antara polarisasi dan medan listrik akan merusak struktur heliks seperti diperlihatkan pada Gambar. Seiring dengan bertambah kuatnya medan listrik, maka molekul yang berada pada bidang yang tegak lurus terhadap arah medan listrik akan bertambah banyak. Pada medan listrik kritikal, struktur heliks akan mengalami *unwinding* dan pada  $E > E_c$  akan diperoleh fasa smektik yang molekulnya miring terhadap sumbu utama yang polarisasinya homogen dan uniform tertuju pada satu arah tertentu, yakni fasa  $SmC$ .



Yang menarik adalah pada rentang medan listrik DC mendekati titik transisi ke fasa  $SmC$ , diamati adanya puncak baru pada frekuensi rendah di bawah 500 Hz yang menunjukkan terjadinya proses relaksasi pada posisi tersebut. Proses relaksasi ini adalah *soft mode* yang berhubungan dengan transisi fasa  $SmA - SmC_{\alpha}^*$  seperti yang diamati pada cuplikan kristal cair MHPOCBC [10]. Mereka telah mempelajari secara teoritis dan eksperimental bahwa *mode* ini dapat diamati dengan pengukuran dielektrik dengan penerapan medan listrik DC. Dibandingkan dengan cuplikan MHPOCBC, posisi puncak pada cuplikan MHPOCBC ini berada pada frekuensi rendah, sedangkan *impedance analyzer* yang digunakan mempunyai batas bawah frekuensi 100 Hz. Untuk mempelajari dan melakukan analisis yang lebih mendalam terhadap proses relaksasi pada frekuensi rendah ini, perlu dilakukan pengukuran dengan peralatan yang dapat menjangkau frekuensi yang lebih rendah lagi. Selanjutnya akan ditunjukkan sebagian hasil *fitting* menggunakan persamaan (1) terhadap seluruh spektrum dispersi frekuensi pada setiap medan listrik DC dan suhu pengukuran.

Pada Gambar 5 diperlihatkan pengaruh medan listrik terhadap *dielectric strength*,  $\Delta\epsilon_f$ , dan frekuensi relaksasi,  $f_R$ , yang diperoleh dari hasil *fitting* spektrum dielektrik kompleks di sekitar transisi fasa  $SmA - SmC_{\alpha}^*$ .

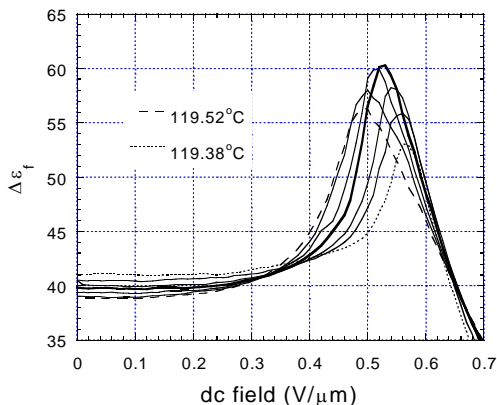
Dalam fasa  $SmA$  (suhu  $119,78^\circ, 119,74^\circ, 119,70^\circ$ ) sampai medan listrik sekitar  $0,5 \text{ V}/\mu\text{m}$  kekuatan FSM sedikit bertambah dan setelah melewati titik transisi ke fasa  $SmC$  mode ini di *suppressed* secara gradual dan  $f_R$  berpindah ke frekuensi yang lebih tinggi pada medan listrik tinggi. Begitu pula pada fasa  $SmC_{\alpha}^*$  (suhu  $119,64^\circ, 119,58^\circ$ ),  $\Delta\epsilon_f$  dan  $f_R$  tidak mengalami perubahan yang berarti pada medan listrik rendah. Dengan semakin kuatnya medan listrik,  $\Delta\epsilon_f(f_R)$  semakin besar (kecil) cukup signifikan dibandingkan dengan fasa  $SmA$ , dan setelah melewati sekitar  $0,5 \text{ V}/\mu\text{m}$ , nilainya kembali menurun (membesar). Perilaku ini merupakan kontribusi dari FSM. Hal ini dijelaskan sebagai berikut. FSM pada  $SmA$  ketika memasuki fasa  $SmC_{\alpha}^*$  bercabang menjadi dua yakni FSM dengan  $f_R$  naik seiring turunnya suhu dan FGM dengan  $f_R$  relatif konstan terhadap suhu. Pada medan listrik rendah kontribusi FGM masih dominan dibanding FSM. Ketika medan listrik semakin besar, kontribusi FGM di-*suppressed* sehingga kontribusi FSM dapat diamati.



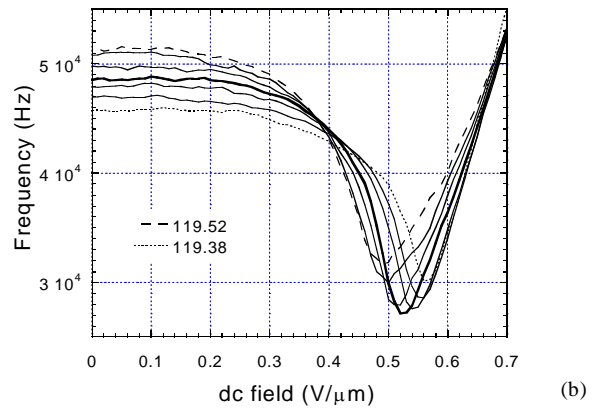
Perubahan  $\Delta\epsilon_f$  dan  $f_R$  terhadap medan listrik DC pada beberapa suhu di dalam fasa  $SmC_{\alpha}^*$  diperlihatkan pada Gambar 6. Seiring dengan perubahan medan listrik DC,  $\Delta\epsilon_f(f_R)$  memperlihatkan adanya puncak di mana nilainya maksimal (minimal) dan setelah itu nilainya kembali turun (naik). Puncak

ini menunjukkan transisi dari fasa SmC $\alpha^*$  ke fasa SmC yang tidak memiliki struktur heliks. Adapun terhadap penurunan suhu, puncak  $\Delta\epsilon_f$  ( $f_R$ ) semakin tinggi (rendah) dan posisi transisi fasa bergeser ke medan listrik DC yang lebih besar. Pada posisi suhu 119,46° dan medan listrik DC 0,6 V/ $\mu\text{m}$ , diperoleh  $\Delta\epsilon_f$  ( $f_R$ ) maksimal (minimal). Setelah melewati titik kritis ini nilainya kembali menjadi rendah (tinggi). Bila diperhatikan lebih lanjut, lebar puncak pada suhu di bawah titik kritis lebih sempit daripada di atasnya. Ini menunjukkan bahwa transisi fasa yang terjadi di bawah suhu kritis adalah orde pertama (*first-order phase transition*), di mana diamati adanya lompatan nilai tetapan dielektrik meskipun tidak menyolok seperti pada transisi fasa SmC $\alpha^*$ -SmC\*. Sedangkan di atas suhu kritis adalah orde kedua (*second-order phase transition*). Hasil ini memperlihatkan bahwa titik kritis ini adalah titik trikritis di mana garis batas transisi fasa SmA-SmC $\alpha^*$  orde ke dua berubah menjadi transisi fasa orde pertama, seperti yang diamati oleh Valery dan Orihara pada MHPOCBC [10]. Hasil ini merupakan pertama kalinya yang menunjukkan adanya titik trikritis di sekitar transisi fasa SmA-SmC $\alpha^*$  untuk cuplikan MHPOBC. Hal ini dimungkinkan dalam percobaan ini karena pengukuran dielektrik dilakukan pada *step* suhu yang sangat sempit yakni 0,02°C, sedangkan laporan percobaan efek medan listrik DC terhadap sifat optik maupun elektrik lainnya pada fasa SmC $\alpha^*$  kristal cair MHPOBC ini dilakukan dengan langkah yang lebih lebar, sehingga titik ini tidak teramati.

Adapun posisi titik trikritis ( $E_{TCP}=0,6$  V/ $\mu\text{m}$ ,  $T_{TCP}=119,46^\circ\text{C}$ ) yang diperoleh dari eksperimen ini, perlu dikonfirmasi lebih lanjut. Ini disebabkan keadaan koeksistensi dua fasa yang terjadi pada transisi fasa orde pertama dapat menyebabkan nilai tetapan dielektrik menjadi besar. Sehingga titik trikritis sebenarnya berada di atas garis batas transisi fasa pada posisi yang lebih rendah dari yang diperoleh dalam percobaan ini [10].

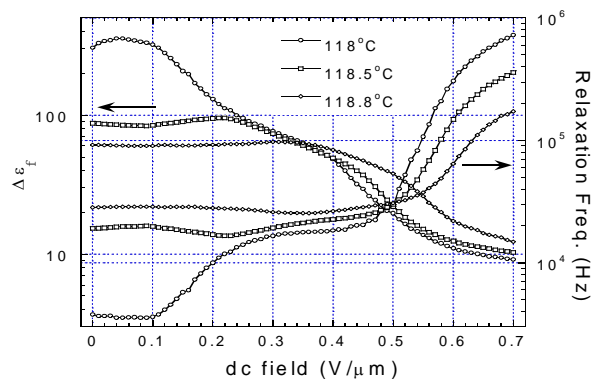


(a)



**Gambar 6.** Perubahan *dielectric strength* (a) dan frekuensi relaksasi (b) terhadap medan listrik DC di dalam fasa SmC $\alpha^*$ . Searah tanda panah, suhu menurun sebesar 0,02°C.

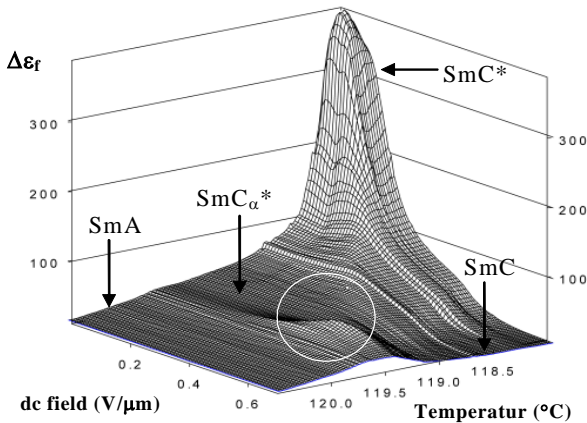
Pada Gambar 7 diperlihatkan hasil *fitting* pada daerah di sekitar transisi dari fasa SmC $\alpha^*$  ke fasa SmC\* dan di dalam fasa SmC\*. Tidak seperti hasil-hasil sebelumnya, perubahan terjadi dalam dua *step*. Yang pertama pada medan listrik rendah terkait dengan proses *unwinding* pada struktur heliks dan yang kedua adalah transisi ke fasa SmC di mana struktur heliks rusak secara sempurna. Seiring dengan turunnya suhu, anomali  $\Delta\epsilon_f$  dan  $f_R$  pada medan listrik DC rendah semakin terlihat. Di daerah sekitar transisi fasa perubahannya lebih kecil daripada transisi ke fasa SmC. Dalam fasa SmC\*, pada medan listrik rendah, perubahan  $\Delta\epsilon_f$  cukup besar tetapi  $f_R$  tidak begitu besar, sebaliknya pada medan listrik besar,  $\Delta\epsilon_f$  kecil tetapi perubahan  $f_R$  besar. Pada umumnya, setelah proses *helix unwinding* ini fasa SmC\* langsung berubah ke fasa SmC, tetapi tidak dengan fasa SmC\* pada kristal cair MHPOBC ini. Pengamatan lebih lanjut diperlukan untuk menjelaskan fenomena ini.



**Gambar 7.** Perubahan *dielectric strength* dan frekuensi relaksasi terhadap medan listrik DC di sekitar transisi fasa SmC $\alpha^*$ -SmC\* dan pada fasa SmC\*.

Gambar 8 memperlihatkan keseluruhan data *dielectric strength*,  $\Delta\epsilon_f$ , pada frekuensi 1 kHz sebagai fungsi suhu dan medan listrik DC. Pada Gambar ini dapat diamati dengan jelas 4 daerah berbeda yakni fasa SmA, SmC $\alpha^*$ , SmC\* dan SmC. Pada fasa SmA *dielectric strength* tidak menunjukkan perubahan yang berarti.

Fasa SmC\* memperlihatkan perubahan struktur beruntun dengan menguatnya medan listrik DC. Pada medan listrik rendah terlihat puncak tajam karena proses *helix unwinding*. Sebelum *dielectric strength* mencapai nilai konstan pada fasa SmC diamati adanya 'bahu', di mana fenomena ini hanya ditemukan pada fasa SmC\* cuplikan MHPOBC, seperti telah dijelaskan di atas.

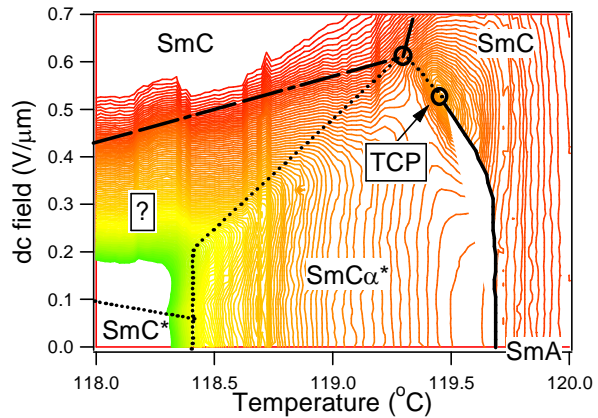


Gambar 8. Dielectric strength sebagai fungsi medan listrik DC dan suhu.

Dalam fasa SmC<sub>α</sub>\* *dielectric strength* relatif konstan terhadap perubahan medan listrik DC, kecuali pada daerah sekitar transisi ke fasa SmC. Pada medan listrik rendah tidak diamati adanya puncak tajam terkait proses *helix unwinding* seperti pada fasa SmC\*. Hasil ini menunjukkan bahwa besarnya medan listrik kritis untuk terjadinya proses *helix unwinding* terkait dengan panjang *pitch* struktur heliks.

Pada Gambar 9 di bawah ini ditunjukkan kontur dari Gambar 8 yang memperlihatkan skema diagram fasa E-T di sekitar transisi fasa SmA- SmC<sub>α</sub>\*- SmC\* kristal cair MHPOBC yang lebih lengkap daripada yang pernah dibuat sebelumnya [14-15]. Selain titik trikritisal (TCP), pada diagram fasa ini diperlihatkan juga transisi fasa baru yang ditunjukkan dengan garis (a) dan (b) yang belum pernah dilaporkan sebelumnya. Yang masih perlu penelitian lebih lanjut baik secara percobaan maupun teoritis adalah permasalahan sebagai berikut ; 1) orde transisi fasa ditunjukkan dengan garis (b), 2) konfigurasi molekul di antara SmC\* dan SmC, dan 3) ada *multicritical point* (c) dimana keempat garis bertemu seperti terlihat pada gambar.

Perlu diberi catatan di sini, meskipun hanya medan listrik DC kecil yang ditambahkan sejajar lapisan smektik, fasa SmA akan mengalami *symmetry breaking* dan menginduksi polarisasi yang uniform secara spasial dan membuat kemiringan molekul. Hal ini berarti bahwa fasa SmA hanya stabil pada E<sub>DC</sub>=0 pada diagram fasa, sedangkan pada medan listrik tertentu, akan menjadi fasa SmC stabil yang polarisasinya *uniform* dan homogen. Karena itu *triple point* berada pada T<sub>c</sub> (E<sub>DC</sub>=0) di mana SmA, SmC<sub>α</sub>\* dan SmC\* bertemu.



Gambar 9. Diagram fasa E (medan listrik) - T (suhu) dari kristal cair MHPOBC di sekitar transisi fasa SmA-SmC\*-SmC\*. TCP menunjukkan titik kritisal dimana batas transisi fasa orde kedua berubah menjadi batas transisi fasa orde pertama. Garis tebal berturut-turut menunjukkan transisi fasa orde kedua, dan garis putus-putus orde pertama.

## KESIMPULAN

1. Telah diperoleh diagram fasa E-T dari kristal cair MHPOBC di sekitar transisi fasa SmA- SmC<sub>α</sub>\* yang lebih lengkap. Selain diperoleh dua garis batas transisi fasa baru, diamati adanya titik trikritisal di mana transisi fasa orde kedua berubah menjadi orde pertama.
2. Proses relaksasi baru dengan frekuensi rendah diamati pada fasa SmC<sub>α</sub>\*, yang diyakini berhubungan dengan *soft mode*. Untuk pengamatan lebih lanjut tentang proses relaksasi ini diperlukan peralatan pengukuran tetapan dielektrik kompleks pada rentang frekuensi yang lebih rendah.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Showa Shell, Co. Ltd., yang telah memberikan cuplikan kristal cair MHPOBC.

## DAFTARACUAN

- [1] A.D.L. CHANDANI, T. HAGIWARA, Y. SUZUKI, Y. OUCHI, H. TAKEZOE and A. FUKUDA, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27** (1988) L729
- [2] T. MATSUMOTO, A. FUKUDA, M. JOHNO, Y. MOTOYAMA, T. YUI, S. SEOMUN and M. YAMASHITA, *J. Mater. Chem.*, **9** (1999) 2051
- [3] A. FUKUDA, Y. TAKANISHI, T. ISOZAKI, K. ISHIKAWA and H. TAKEZOE, *J. Mater. Chem.*, **4** (1994) 997
- [4] P. MACH, R. PINDAK, A. M. LEVELUT, P. BAROIS, H. T. NGUYEN, C. C. HUANG and L. FURENLID, *Phys. Rev. Lett.*, **81** (1998) 1015

- [5] P. MACH, R. PINDAK, A.-M. LEVELUT, P. BAROIS, H. T. NGUYEN, H. BALTES, M. HIRD, K. TOYNE, A. SEED, J. W. GOODBY, C. C. HUANG and L. FURENLID, *Phys. Rev. E*, **60** (1999) 6793
- [6] L. S. HIRST, S. J. WATSON, H. F. GLEESON, P. CLUZEAU, P. BAROIS, R. PINDAK, J. PITNEY, A. CADY, P. M. JOHNSON, C. C. HUANG, A.-M. LEVELUT, G. SRAJER, J. POLLMANN, W. CALIEBE, A. SEED, M. R. HERBERT, J. W. GOODBY, and M. HIRD, *Phys. Rev. E*, **65** (2002) 041705
- [7] D. A. OLSON, S. PANKRATZ, P. M. JOHNSON, A. CADY, H. T. NGUYEN, and C. C. HUANG, *Phys. Rev. E*, **63** (2001) 061711
- [8] H. ORIHARA, A. FAJAR and V. BOURNY, *Phys. Rev. E*, **65** (2002) 040701
- [9] A. FAJAR, H. MURAI and H. ORIHARA, *Phys. Rev. E*, **65** (2002) 040704
- [10] V. BOURNY and H. ORIHARA, *Phys. Rev. E*, **63** (2001) 21703
- [11] I. MUSEVIC, R. BLINC and B. ZEKS, *The Physics of Ferroelectric and Antiferroelectric Liquid Crystals*, (2000) (World Scientific, Singapore)
- [12] H. TAKEZOE, K. HIRAOKA, T. ISOZAKI, K. MIYACHI, H. AOKI, and A. FUKUDA, *Modern Topics in Liquid Crystal – From Neutron Scattering to Ferroelectricity*, Ed. A. Buka, (World Scientific, Singapore)(1993)
- [13] R.B. MEYER, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **40** (1977) 33
- [14] T. SAKO, Y. KIMURA, R. HAYAKAWA, N. OKABE, and Y. SUZUKI, *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol. Sect. A*, **263** (1995) 81
- [15] T. SAKO, Y. KIMURA, R. HAYAKAWA, N. OKABE, and Y. SUZUKI, *Jap. J. Appl. Phys.*, **35** (1996)L114